



Estimación del diámetro normal, altura y volumen de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en función del diámetro del tocón

Normal diameter, height and volume estimation of *Pinus pseudostrabus* Lindl. from the diameter of the stump

Edgar Alan Flores Morales¹, Oscar Alberto Aguirre Calderón^{1*}, Gerónimo Quiñónez Barraza², Marco Aurelio González Tagle¹ y Javier Jiménez Pérez¹

Abstract

Stands can be affected by several factors, such as natural phenomena or forest management because they modify their structure and residual timber volume. The quantification of the volume removed in a forestry intervention is usually difficult, but after the application of silvicultural treatments the stump keeps evident; based on its dimensions, it is feasible to generate regression models to know the normal diameter, height and standing volume. Thus, 83 trees were measured with a dendrometer in order to obtain the most reliable equation to determine the functional relationship between a) normal diameter – stump diameter; b) total height-stump diameter and c) total volume-stump diameter. Linear and nonlinear models were adjusted to the established relationships. Different criteria of goodness of fit were used to choose the best model: the coefficient of determination, the root of the mean square error and the coefficient of variation. With a simple linear equation you can predict the normal diameter-stump diameter ratio and with a polynomial equation, the total height-stump diameter ratio. For the volume-diameter ratio of the stump, a system of equations with multiplicative effect was generated in order to correct the heteroscedasticity. The generated equations gave statistically reliable results to predict the variables of interest.

Key words: Heteroskedasticity, forest management, linear models, stump, *Pinus pseudostrabus* Lindl., mensuration variables.

Resumen

Los rodales pueden ser afectados por diversos factores, como los fenómenos naturales o el manejo forestal, porque modifican su estructura y el volumen maderable residual. La cuantificación del volumen removido en una intervención silvícola suele ser difícil, pero después de la aplicación de tratamientos silvícolas queda como evidencia el tocón; con base en sus dimensiones, es factible generar modelos de regresión para conocer el diámetro normal, la altura y el volumen en pie. Así, se midieron 83 árboles con un dendrómetro a fin de obtener la ecuación más confiable para determinar la relación funcional: a) diámetro normal–diámetro del tocón; b) altura total–diámetro del tocón; y c) volumen total–diámetro del tocón. Se ajustaron modelos lineales y no lineales a las relaciones establecidas. Para elegir el mejor modelo se utilizaron diferentes criterios de bondad de ajuste: el coeficiente de determinación, la raíz del error medio cuadrático y el coeficiente de variación. Con una ecuación lineal simple es posible predecir la relación diámetro normal–diámetro del tocón y con una ecuación polinomial, la relación altura total–diámetro del tocón. Para la relación volumen–diámetro del tocón, se generó un sistema de ecuaciones con efecto multiplicativo con el propósito de corregir la heterocedasticidad. Las ecuaciones dieron resultados estadísticamente confiables para predecir las variables de interés.

Palabras clave: Heterocedasticidad, manejo forestal, modelos lineales, tocón, *Pinus pseudostrabus* Lindl., variables dasométricas.

Fecha de recepción/Reception date: 22 de marzo de 2019

Fecha de Aceptación/Acceptance date: 30 de agosto de 2019

¹Facultad de Ciencias Forestales (FCF). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

²Campo Experimental Valle del Guadiana, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México.

*Autor por correspondencia; correo-e: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx

Introducción

El aprovechamiento maderable ha sido de gran relevancia para la sociedad, debido a los diversos beneficios que le ha proporcionado, por lo que es interesante contar con una estimación precisa de las existencias maderables que permita la planificación de la extracción sustentable de la madera (Diéguez *et al.*, 2003); pues los bosques son valorados desde un punto de vista económico en función de la proporción de volumen que producen en el ciclo de corta o turno de planeación (Robinson y Wood, 1994). Se calcula que en México la producción maderable es de 6.7 millones m³r, de los cuales los principales géneros de interés son *Pinus* spp., con 4.6 millones de m³r que representa 74.8 % de la producción maderable total a nivel nacional; y *Quercus* spp., con 0.7 millones de m³r, que corresponde a 10.8 % (Semarnat, 2016).

Sin embargo, los bosques son impactados por el manejo forestal, como sucede cuando se aplican tratamientos silvícolas con intensidades de corta superiores al incremento volumétrico de los rodales. También, existen otros fenómenos que llevan a la pérdida de vegetación forestal como los incendios, las plagas y las talas clandestinas (Sanhueza y Antonissen, 2014). Es por ello, que se requiere información sobre el volumen existente y el que se extrae (Báes y Gra, 1990).

Después de cortar un árbol, queda el tocón que permite la reconstrucción del tamaño de los árboles removidos, por medio de modelos matemáticos que predicen el diámetro, la altura y el volumen a partir de las dimensiones del tocón, lo que resulta útil para calcular volúmenes de cosecha o pérdida por fenómenos naturales (Corral *et al.*, 2007).

Conocer el diámetro normal, la altura total y el volumen de árboles o grupos de ellos en un rodal, con base en el diámetro del tocón tiene, entre otras aplicaciones, las siguientes: 1) estimar el volumen de madera extraído en una corta final o en una corta de mejora (aclareo) ya realizada; 2) comprobar los resultados de las operaciones de aprovechamiento tras la extracción de los árboles; y 3) evaluar las prácticas silvícolas realizadas, a partir de la reconstrucción de la composición previa de la masa, cuando esta no se ha medido con anterioridad (Bylin, 1982; Parresol, 1998).

Es notable que en los últimos años se haya multiplicado el número de trabajos respecto a este tema, pero en México existen pocas investigaciones acerca de la predicción de las variables dasométricas y el volumen (Quiñónez *et al.*, 2012).

En la actualidad, se reconocen 47 especies, tres subespecies y 22 variedades de pino para México (Sánchez, 2008), de las cuales 15 taxa se distribuyen en el estado de Nuevo León; *Pinus pseudostrobus* Lindl. destaca por el valor comercial de su madera, la cual es considerada de buena calidad y se utiliza, principalmente, para el aserrío (Estrada *et al.*, 2014). Al igual que otros taxones tiene una amplia distribución en el territorio nacional (Sáenz *et al.*, 2011).

Con base en las consideraciones anteriores, se planteó el objetivo de ajustar modelos matemáticos para la predicción del diámetro normal, altura y volumen a partir del diámetro del tocón para *P. pseudostrobus*, en el sur de Nuevo León, México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio fue el ejido Corona del Rosal, ubicado en el municipio Galeana, al sureste del estado de Nuevo León, México. El ejido tiene una superficie de 6 646.42 ha y administrativamente pertenece al área de influencia del Distrito de Desarrollo Rural Galeana y a la Unidad de Manejo Forestal (Umafor) 1901. Se localiza entre los 24°27'23" y los 24°32'51" N y los 99°53'54" y los 100°01'34" O, en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental. El clima se define como del grupo de climas secos, del tipo semiseco, subtipo semiseco templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C. Con temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y la temperatura del mes más cálido mayor a 18 °C (García, 1973).

Colecta y base de datos

Mediante un diseño de muestreo dirigido se seleccionaron 83 árboles con diferente diámetro y altura, con las características siguientes: copa completa, no despuntados, no rayados, sin evidencia de plagas y enfermedades, saludables, así como de un solo fuste. Con dicha información se integró una base de datos con todas las categorías de diámetros y alturas existentes en el área de estudio.

Cada ejemplar se midió con un dendrómetro *Criterion RD100*[®] para obtener los diámetros a diferentes alturas. La primera fue a la altura mínima posible de corte del tocón; se tomaron tres secciones hasta llegar al diámetro normal (130 cm), las dos primeras de 30 cm de altura y la tercera de 70 cm. Las siguientes secciones fueron de 2 m de longitud, de manera subsecuente hasta la punta del árbol; por cada individuo, se midió el diámetro normal, la longitud total del fuste; y de cada sección los diámetros y longitudes. Los volúmenes de las trozas se calcularon con la fórmula de *Smalian* (1) y la parte final con la del cono (2) (Quiñónez *et al.*, 2012; García, 2015):

$$V = \frac{S1 + S2}{2} * h \quad (1)$$

$$V = \frac{S b * h}{3} \quad (2)$$

Donde:

$S1$ = Superficie menor (m^2)

$S2$ = Superficie mayor (m^2)

Sb = Superficie de la base (m^2)

h = Longitud (m)

V = Volumen (m^3)

Los volúmenes individuales de cada sección se sumaron para determinar el volumen total del fuste limpio.

Modelos utilizados

Una vez estimado el volumen fustal, se procedió al ajuste de los modelos inicialmente recomendados por Diéguez *et al.* (2003), Benítez *et al.* (2004), Corral *et al.* (2007) y Quiñónez *et al.* (2012) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Modelos utilizados para predecir el diámetro normal, altura total y volumen fustal a partir del diámetro del tocón.

Modelo	Ecuación
$dn = a + b (dt)$	1
$dn = a + b (dt)^2$	2
$dn = a + b (dt) + c (dt)^2$	3
$\ln (dn) = a + b \ln (dt)$	4
$ht = a + b (dt)$	5
$ht = a + b (dt)^2$	6
$ht = a + b (dt) + c (dt)^2$	7
$\ln (ht) = a + b \ln (dt)$	8
$vf = a + b (dtoc)$	9
$V_f = \beta_0(\beta_1 (dt)^{a2})^2(a3 (dt)^{a4}$	10

dt = Diámetro del tocón; dn = Diámetro normal; ht = Altura total; vf = Volumen fustal; β_0, β_1, a, b y c = Parámetros por estimar

Los modelos utilizados, excepto el número 10, son lineales en sus parámetros, por lo que su ajuste se realizó con el método de mínimos cuadrados, mediante el procedimiento *MODEL*; y para el modelo 10, se generaron sus estimadores con el método de regresión aparentemente no relacionada (SUR, por sus siglas en inglés) del programa estadístico SAS (SAS, 2013).

Hair *et al.* (1999) y Quiñónez *et al.* (2012) señalan que no siempre las ecuaciones que mejor se ajustan a la muestra conducen a las estimaciones más precisas de los valores reales, por lo que un análisis de regresión no consiste en determinar el mejor ajuste solo para la muestra, sino en desarrollar el modelo que describa con mayor precisión a la población en su conjunto.

La capacidad de ajuste se analizó a partir de los residuos y de tres estadísticos utilizados con frecuencia en la comparación de modelos biométricos (Prodan *et al.*, 1997; Gadow y Hui, 1999; Castedo y Álvarez, 2000; Diéguez *et al.*, 2003; Corral *et al.*, 2007): Raíz del error medio cuadrático (3), Coeficiente de determinación ajustado (4) y Coeficiente de variación (5):

$$\text{REMC} = \sqrt{\frac{\left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2\right]}{n-p}} \quad (3)$$

$$R_{\text{adj}}^2 = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2\right]}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \left(\frac{n-1}{n-p}\right) \quad (4)$$

$$CV = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{\frac{n-1}{\bar{y}}} \quad (5)$$

La raíz del error medio cuadrático indicó la precisión de las estimaciones; el coeficiente de determinación ajustado reflejó la variabilidad total explicada por el modelo, con base en el número total de parámetros por estimar; el coeficiente de variación explicó la variabilidad relativa con respecto a la media, lo que sirve para la rápida comparación de los modelos propuestos (Diéguez *et al.*, 2003).

De igual forma, se analizaron gráficamente los valores residuales contra los valores predichos, para identificar si hay valores atípicos o alguna tendencia sistemática; esta opción es muy práctica para el análisis de los ajustes de los modelos antes mencionados.

En el Cuadro 2 se ordenan los estadísticos de diámetro del tocón (*dt*), diámetro normal (*dn*), altura total (*ht*) y volumen fustal (*vf*).

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de la base de datos.

Variable	Media	DS	Mínimo	Máximo	CV
<i>dn</i> (cm)	45.43	15.82	14	66.6	40.67
<i>dt</i> (cm)	38.89	17.31	17	78.8	38.09
<i>ht</i> (m)	19.08	4.88	8.4	30.7	25.61
<i>vf</i> (m ³)	1.65	1.3	0.079	6.16	83.96

dn = Diámetro normal (cm); *dt* = Diámetro del tocón (cm); *ht* = Altura total (m); *vf* = Volumen fustal (m³), *DS* = Desviación estándar; *CV* = coeficiente de variación

Resultados

Relación diámetro normal – diámetro del tocón

Los valores de los estimadores de los modelos para la relación del diámetro normal en función del diámetro del tocón se muestran en el Cuadro 3. Los de mayor R^2_{adj} fueron 1, 3 y 4; sin embargo, el número 3 tiene dos parámetros no significativos, lo cual también es un indicador para la elección del modelo, mientras que para los modelos 1 y 4 se obtuvieron valores muy bajos en la *REMC* y otros similares en R^2_{adj} ; el modelo seleccionado fue el 1.

Cuadro 3. Valores de los parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para los modelos utilizados para la relación diámetro normal-diámetro del tocón.

Modelo	REMC	R^2_{adj}	CV	Parámetro	Estimador	Error		
						estandard aproximado	Valor t	Pr > t
1	2.2325	0.98	5.7	a	-2.21829	0.6919	-3.21	0.0019
				b	0.90499	0.0142	63.54	<0.0001
2	3.4092	0.95	8.71	a	1.598826	0.6719	23.79	<0.0001
				b	0.009707	0.000236	41.05	<0.0001
3	2.2464	0.97	5.7	a	-2.1022	18.075	-1.16	0.2483
				b	0.899012	0.0871	10.32	<0.0001
				c	0.000066	0.000947	0.07	0.9447
4	0.06559	0.97	1.83	a	-0.41696	0.06355	-6.56	<0.0001
				b	106.666	0.01691	63.06	<0.0001

En la Figura 1 se observa la tendencia del ajuste del Modelo 1 que tuvo los mejores estadísticos, además de los valores predichos contra los residuos obtenidos. La distribución de los errores no sigue un patrón definido, por lo que se asume que el modelo no presenta problemas de heterocedasticidad; el intervalo de los valores residuales es reducido en todos los casos.

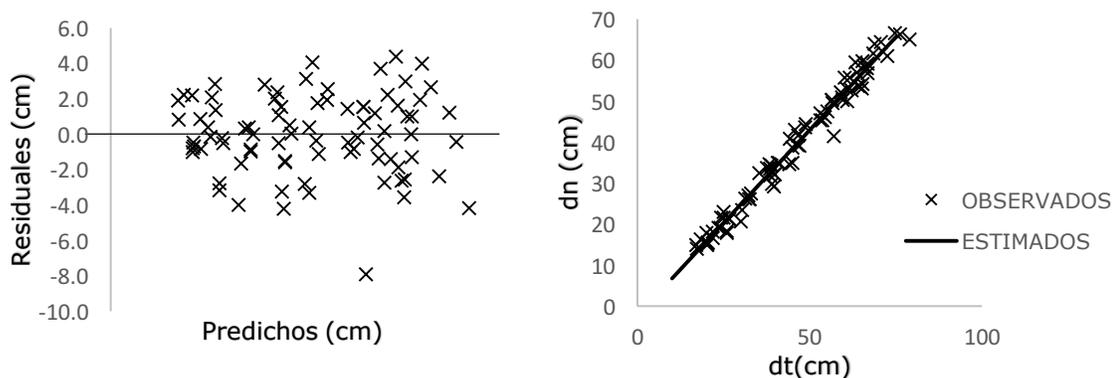


Figura 1. Ajuste del modelo seleccionado y de valores residuales contra predichos.

Relación altura total – diámetro del tocón

Los valores de los estimadores y los estadísticos de ajuste para la relación altura total en función del diámetro del tocón están resumidos en el Cuadro 4. El modelo seleccionado para la especie en estudio fue el 7, que explicó satisfactoriamente la relación entre las variables dasométricas; el modelo 8 tuvo los mejores estadísticos de ajuste, pero al aumentar el diámetro del tocón tiende a sobrestimar la altura, con respecto a los diámetros observados.

Cuadro 4. Valores de los parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para los modelos utilizados para la relación altura total-diámetro del tocón.

Modelo	REMC	R^2 adj	CV	Parámetro	Estimador	Err std aprox	Valor t	Pr > t
5	2.9411	0.63	15.31	a	8.797896	0.9116	9.65	<0.0001
				b	0.226432	0.0188	12.07	<0.0001
6	3.0717	0.61	15.99	a	1.342368	0.6054	22.17	<0.0001
				b	0.002399	0.000213	11.26	<0.0001
7	2.9454	0.63	15.24	a	6.885309	2.37	2.91	0.0047
				b	0.324927	0.1142	2.85	0.0056
				c	-0.00109	0.00124	-0.87	0.0384
8	0.17214	0.63	5.91	a	0.91506	0.16678	5.49	<0.0001
				b	0.53487	0.04439	12.05	<0.0001

En la Figura 2 se ilustra la tendencia del ajuste del modelo 7, que, por ser el mejor fue el elegido; se muestran, también, los valores predichos contra los residuales obtenidos. La distribución de los errores no sigue un patrón definido, por lo que se asume que el modelo tampoco presenta problemas de heterocedasticidad, al igual que el número 1, para la relación altura total-diámetro el tocón.



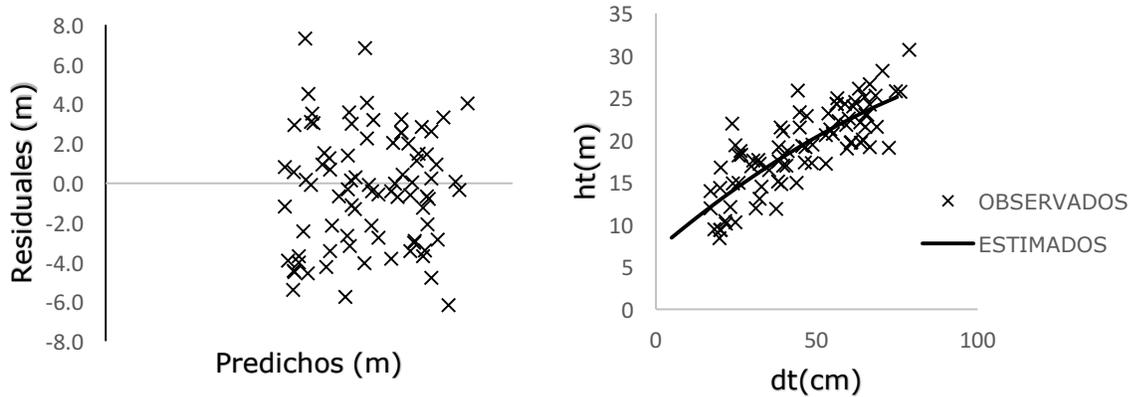


Figura 2. Ajuste del modelo seleccionado y gráfica de valores residuales contra predichos.

Relación volumen de fuste –diámetro del tocón

Los valores de los estimadores de los modelos y los estadísticos de ajuste para volumen del fuste en función del diámetro del tocón se presentan en el Cuadro 5. El modelo 10 de volumen fustal tuvo una R^2_{adj} de 0.93 y una baja *REMC* al igual que el *CV* para *P. pseudostrobus*. Todos los parámetros fueron significativos, y se les ajustó con el método de regresión aparentemente no relacionada (SUR), ya que se obtienen estimadores consistentes para las ecuaciones que conforman el sistema, lo que representa una ventaja sobre (MCO) mínimos cuadrados ordinarios (Cruz *et al.*, 2008).

Cuadro 5. Valores de los parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para los modelos utilizados para la relación volumen de fuste -diámetro del tocón.

	Modelo	Parámetros	Estimador	Error estándar aproximado	REMC	R^2_{adj}	Pr > t	
	9	a1	-1.76885	0.2453	0.4749	0.88	<0.0001	
		a2	0.07525	0.1158			<0.0001	
	10	a1	0.664366	0.0495	0.3508	0.93	<0.0001	
		a2	1.065056	0.0186			<0.0001	
		a3	2.700923	0.4625			<0.0001	
		a4	0.516857	0.0438			<0.0001	
Al que		β_0	0.000042	5.699E-7			<0.0001	igual

García (2015), se corrigió el problema de heterocedasticidad asociada al volumen fustal con una función de potencia de la varianza del residual $\sigma_i^2 = (D^2H)^\phi$. Los estimadores del sistema son significativos $Pr > |t|$ calculados con una confiabilidad de 95 %; los parámetros fueron estimados y programados con el procedimiento *MODEL* de SAS/ETSTM (SASI, 2013):

$$resid.Vf = resid.Vf / [(D^2H)^{0.5}]$$

En la Figura 3 se describe la tendencia del ajuste del mejor modelo de volumen fustal, el cual sugiere buenos resultados estadísticos, y también se muestran los valores predichos contra los residuos obtenidos con el modelo. Después de la corrección por heterocedasticidad, la distribución de los errores no sigue un patrón definido, por lo que se asume que el modelo ya no tiene problemas de heterocedasticidad.

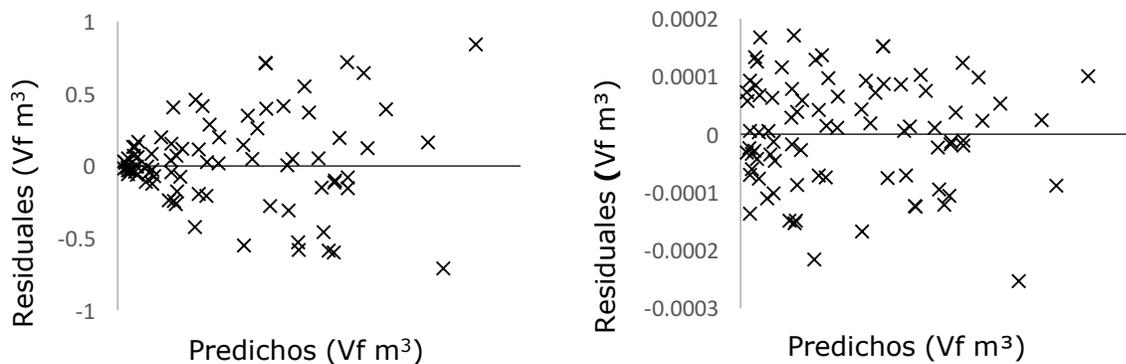


Figura 3. Heterocedasticidad sin corregir (izquierda) y corregida (derecha) del sistema de ecuaciones para predecir el volumen.

Discusión

Dada la simplicidad del modelo lineal, considerando los estadísticos de ajuste, el modelo 1 es el más adecuado para estimar el diámetro normal, a partir del diámetro del tocón para *P. pseudostrobus*, hecho que concuerda con Quiñónez *et al.* (2012), quienes identificaron que el modelo lineal explica la relación diámetro normal y el diámetro del tocón con un ajuste superior a 0.9, al igual que Diéguez *et al.* (2003) y Corral *et al.* (2007).

El Modelo 4 tiene buen ajuste, ya que presenta la menor *REMC* y un menor *CV*. En un estudio reciente, García *et al.* (2016) también registraron que una ecuación lineal simple explica satisfactoriamente la relación existente entre el diámetro del tocón y el diámetro normal para *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. et Cham. en la localidad 2Pico de Tancítaro, en el estado de Michoacán.

Con respecto a la relación altura total–diámetro del tocón hay poca investigación. Quiñónez *et al.* (2012) concluyeron que un modelo lineal simple tuvo los mejores estadísticos para seis especies de pino. En el presente trabajo, el mejor ajuste correspondió a los modelos 5, 7 y 8, con una R^2_{adj} de 0.63; al analizar los demás estadísticos se optó por elegir el modelo 7 que es polinomial; estos valores están muy por debajo a los documentados por López y Ramos (2014), quienes obtuvieron el mejor ajuste con un modelo potencial alométrico para *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. en Ixtlán, Oaxaca, con una R^2 de 0.97.

Con respecto a la relación altura–diámetro del tocón, Diéguez *et al.* (2003) aseveraron que la altura del tocón no aportó un incremento significativo sobre la variabilidad explicada por los modelos, solo recomiendan considerar la altura del tocón en el caso de especies con particularidades en la base del tronco.

Por otra parte, Martínez (2001) relacionó la altura de árboles dominantes y codominantes respecto a su diámetro normal, para *Pinus patula* Schltld. et Cham., en la Sierra Norte de Oaxaca, y definieron que dicha relación funcional puede estimarse por medio del Modelo de *Schumacher* (modelo sigmoidal) (Schumacher, 1939).

Para la relación volumen del fuste - diámetro del tocón, el modelo no lineal explica la relación, hecho que concuerda con lo propuesto por Martínez y Ramos (2014) para *Quercus laurina* en Ixtlán, Oaxaca, México; y por Corral *et al.* (2007) para *Pinus cooperi* C. E. Blanco, en la región de El Salto, Durango; Quiñónez *et al.* (2012) para *Pinus arizonica* Engelm., *P. ayacahuite* Ehrenb. & Schltldl., *P. durangensis* Martínez, *P. leiophylla* Schltldl. & Cham., *P. teocote* Schltldl. & Cham. y *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl. en Durango. Diéguez *et al.* (2003) para *Pinus pinaster* Aiton, *P. radiata* D. Don y *P. sylvestris* L. en Galicia, España determinaron que un modelo logarítmico explica satisfactoriamente la relación entre estas dos variables.

De acuerdo a los estadísticos, el modelo 9 puede predecir confiablemente, y, para volúmenes bajos esta es muy alta, en cambio para los volúmenes más grandes, el modelo sobreestima los valores predichos. Es común que la mayoría de los modelos de volumen tienen problemas de heterocedasticidad, dado que a mayores valores de diámetros y altura, la variación en los volúmenes de los árboles se hace más grande (Torres y Magaña, 2001).

Conclusiones

La estimación del diámetro normal a partir del diámetro del tocón puede hacerse de forma confiable por medio de una regresión lineal simple (1), ya que alcanza estadísticos confiables con $R^2_{adj} > 0.90$ y $REMC$ de 2.2325. La altura se estima de forma precisa con base en el diámetro del tocón por medio del modelo polinomial (7), cuyas propiedades describen mejor la relación existente entre las dos variables. Para estimar el volumen se utilizó un modelo no lineal (9), a partir de un sistema de ecuaciones, lo que reduce el error de heterocedasticidad, con lo cual se obtiene mayor precisión en el cálculo del volumen fustal.

Las relaciones funcionales generadas son relevantes para reconstruir escenarios en las áreas afectadas por condiciones naturales o efectos adversos dentro del área de estudio. Esta información es útil para determinar las dimensiones individuales y el volumen total de *P. pseudostrobus*.

Los modelos seleccionados predicen satisfactoriamente el comportamiento de las variables diámetro normal, altura total y volumen, respectivamente, en función del diámetro del tocón y silvícolamente ayudan a planificar y a tomar decisiones sobre las intervenciones aplicables, así como para recrear escenarios, y saber cómo se realizaron los tratamientos.

Agradecimientos

Este estudio fue realizado con apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Los autores agradecen al ejido Corona del Rosal por la disponibilidad y el permiso otorgado para la toma de datos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Contribución por autor

Edgar Alan Flores Morales, Oscar Alberto Aguirre Calderón, Gerónimo Quiñónez Barraza: análisis de datos, ajuste de modelos, elaboración del manuscrito; Marco Aurelio González Tagle, Javier Jiménez Pérez: revisión del manuscrito.

Referencias

Báes, R. y H. Gra. 1990. Estudios dasométricos en *Casuarina equisetifolia*. Determinación del diámetro normal a partir del diámetro del tocón. *Revista Forestal Baracoa* 20(2): 63-68.

Benítez N., J. Y., M. Rivero V., A. Vidal C., J. Rodríguez R. y R. C. Álvarez R. 2004. Estimación del diámetro normal a partir del diámetro del tocón en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. de la provincia Camagüey, Cuba. *Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente* 10 (1): 25-30.

Bylin, C. V. 1982. Volume prediction from stump diameter and stump height of select species in Louisiana. USDA Forest Service Note SO-182. New Orleans, LA, USA. 11 p.

Castedo, F. y J. G. Álvarez 2000. Construcción de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Pinus radiata* D. Don en Galicia basado en una función de perfil del tronco. Investigación Agraria Recursos Forestales 9 (2): 253-268.

Corral R., J., M. Barrio A., O. A. Aguirre C. and U. Diéguez A. 2007. Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto, Durango (México). Forestry 80 (1): 29 - 40. Doi: 10.1093/forestry/cpl048.

Cruz C., F., H. M. De los Santos P. y J.R. Valdez L. 2008. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus cooperi* Blanco en Durango, México. Agrociencia 42(4):473-485.

Diéguez A., U., M. Barrio A., F. Castedo D. y M. Balboa M. 2003. Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. Investigación Agraria Recursos Forestales 12 (2): 131-139.

Estrada C., A., J. A. Villareal Q., M. M. Salinas R., C. M. Cantú A., H. González R. y J. Jiménez P. 2014. Coníferas de Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L., México. 145 p.

Gadow K., V. and G. Hui. 1999. Modelling forest development. Kluwer Academic Publishers. AH. Dordrecht. University of Göttingen. Göttingen, Germany. 205 p.

García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. UNAM. México D. F., México. 252 p.

García E., G. 2015. Ecuaciones de ahusamiento para estimar el volumen de dos especies de pino en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Linares, N.L., México. 72 p.

- García C., X., V. Herrera Á., J. Hernández R., J. J. García M. y A. Hernández R. 2016. Ecuaciones para predecir el diámetro normal en función del diámetro del tocón para *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 7(37): 95-103. Doi: 10.29298/rmcf.v7i37.54.
- Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham y W. C. Blach 1999. Análisis multivariante. Prentice Hall Iberia. Madrid, España. 832 p.
- Martínez L., J. 2001. Índice de sitio y comportamiento diamétrico para *Pinus patula* Schl. et Cham., en San Juan Evangelista Analco, Ixtlán, Oaxaca. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca Núm. 23. Nazareno, Xoxocotlán, Oax., México. 163 p.
- Martínez L., J. y A. Ramos A. 2014. Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del diámetro del tocón para *Quercus laurina*, en Ixtlán, Oaxaca, México. Madera y Bosques 20(1): 59-70. Doi: 10.21829/myb.2014.201176.
- Parresol, B. R. 1998. Prediction and error of baldcypress stem volume from stump diameter. Southern Journal of Applied Forestry 22 (2): 69–73.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. Mensura forestal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. San José, Costa Rica. 86 p.
- Quiñónez B., G., F. Cruz C., B. Vargas L. y F. J. Hernández. 2012. Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del tocón para especies forestales de Durango. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(9): 23-39. Doi: 10.1051/forest:2003015.
- Robinson, A. P. and G. B. Wood. 1994. Individual tree volume estimation: A new look at new systems. Journal of Forestry 92 (12): 25-29. Doi:10.1093/jof/92.12.z1.

Sáenz R., J. T., H. J. Muñoz F. y A. Rueda S. 2011. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Uruapan. Libro Técnico Núm. 10. Uruapan, Mich., México. 236 p.

Sánchez G., A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* Vol. 14(1): 107-120. Doi:10.21829/myb.2008.1411222.

Sanhueza, J. E. y M. Antonissen. 2014. REDD+ en América Latina. Estado actual de las estrategias de reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal. CEPAL. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos y German Society for International Cooperation LC/W.603. México. México, D.F., México. 70 p.

Schumacher, F. X. 1939. A new growth curve and its application to timber yield studies. *Journal of Forestry* 37: 819-820.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2016. Anuario estadístico de la producción forestal 2016. 228p.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181383/ANUARIO_FORESTAL_2015.pdf (15 de marzo de 2017).

Statistical Analysis System Institute Inc. (SAS). 2013. User 's Guide. Version 9.4 for Windows. Cary, NC, USA. 556 p.

Torres, R., J.M y O. S Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Limusa Editores. México. D. F., México. 472 p.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia [Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial \(CC BY-NC 4.0 Internacional\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.